



## Principo de micromanipulacion inmersa por hielo.

Beatriz C. Lopez Walle, Michaël Gauthier, Nicolas Chaillet

### ► To cite this version:

Beatriz C. Lopez Walle, Michaël Gauthier, Nicolas Chaillet. Principo de micromanipulacion inmersa por hielo.. Congreso de Instrumentacion - SOMIXXII., Sep 2007, Monterrey, Nuevo Leon, México. sur CD ROM - 6 p. hal-00181476

**HAL Id: hal-00181476**

**<https://hal.science/hal-00181476>**

Submitted on 24 Oct 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# PRINCIPIO DE MICROMANIPULACIÓN INMERSA POR HIELO

Beatriz C. López Walle, Michaël Gauthier, Nicolas Chaillet  
Laboratoire d'Automatique de Besançon, UMR CNRS 6596 – ENSMM – UFC  
24, rue Alain Savary 25000 Besançon, France  
{blopez,gauthier,chaillet}@ens2m.fr

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas en la manipulación y ensamble de micro-objetos cuyo tamaño está comprendido entre un micrómetro y un milímetro es el desarrollo de estrategias de prensión altamente fiables y precisas, particularmente durante la fase de liberación del micro-objeto [1], [2]. Además, cuando las dimensiones del objeto son inferiores a 100  $\mu\text{m}$ , la fase de liberación está fuertemente perturbada por el ambiente [3], [4]. Un análisis comparativo en [5] muestra que la manipulación inmersa reduce considerablemente las perturbaciones: (i) las fuerza de pull-off y las fuerzas de van der Waals y electrostática disminuyen; (ii) la fuerza de capilaridad se cancela; (iii) la fuerza hidrodinámica se incrementa. Estos fenómenos tienen dos consecuencias: por un lado, las perturbaciones electrostáticas y de adhesión se reducen drásticamente; y por el otro, la velocidad máxima del micro-objeto es limitada, reduciendo su pérdida.

Los prensos por hielo ya han sido utilizados en el aire para la manipulación de objetos según se describe en [6]-[9]. Sin embargo su miniaturización está limitada principalmente por los problemas causados por la fuerza de capilaridad. Este tipo de manipuladores proveen altas fuerzas de prensión y son capaces de manipular objetos de casi cualquier tipo de material y forma, aunque los objetos de baja conductividad térmica son recomendados. Actualmente, el tamaño de los objetos manipulados es superior a los 200  $\mu\text{m}$ . El micromanipulador inmerso por hielo propuesto saca ventaja de la anulación de la fuerza de capilaridad permitiendo la manipulación de objetos inferiores a 100  $\mu\text{m}$ . Su principal aplicación se encuentra en la micromecánica y el ensamble de microcomponentes ópticos, mecánicos o eléctricos.

Este trabajo está estructurado como sigue: la sección II presenta el dispositivo experimental del micromanipulador inmerso por hielo; la sección III describe los circuitos térmicos (circuito RC equivalentes) de dos de sus subsistemas; finalmente, la sección IV muestra la validación experimental del circuito térmico dinámico analizado, así como las primeras manipulaciones.

## II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El primer prototipo del micromanipulador inmerso por hielo fue desarrollado. Esta sección presenta su estrategia de prensión, su principio térmico y sus características físicas y técnicas.

### A. Estrategia de Prensión

La estrategia de prensión del micromanipulador inmerso por hielo se enuncia a continuación. Primero, el prensor se acerca al micro-objeto sin tocarlo. Segundo, se genera una microgota de hielo que atrapa el objeto. Éste puede entonces ser desplazado y reposicionado. Finalmente, la microgota de hielo es derretida liberando el objeto sin la influencia de la fuerza de capilaridad ya que el hielo se mezcla con el medio. En consecuencia, el líquido es explotado tanto para generar la gota de hielo, como para evitar las fuerzas de capilaridad durante la liberación del objeto.

### B. Principio Térmico

La energía térmica necesaria para generar la microgota de hielo es provista por dos módulos a efecto Peltier. Un módulo a efecto Peltier produce un flujo de calor cuya dirección y magnitud son proporcionales a la corriente eléctrica aplicada. Este flujo de calor impone dos caras, una fría y una caliente; esta última debe estar asociada a un radiador para disipar el flujo de calor. La arquitectura

del micromanipulador inmerso por hielo, ilustrada en la fig. 1a, consiste básicamente en dos módulos a efecto Peltier y un sistema de enfriamiento líquido. El primero, llamado MicroPelt™ (μP), está conectado en su cara fría al prensor, al cual le suministra la energía necesaria para generar la microgota de hielo. Este proceso de enfriamiento incrementa la temperatura en la cara caliente del MicroPelt. El calor por convección generado en el agua es tan importante que todo el sistema (líquido, prensor y módulo Peltier) puede calentarse. Para disminuir de manera activa la temperatura del radiador del MicroPelt, se le conectó un segundo módulo Peltier, al que llamamos MiniPeltier (mP). La temperatura en su cara caliente se mantiene constante y a la temperatura del medio ambiente mediante un sistema de enfriamiento líquido [11]. El prensor y el MicroPelt están completamente inmersos y eléctricamente aislados, mientras que el MiniPeltier y el sistema de enfriamiento líquido permanecen en el aire para disipar el calor fuera del agua.

### C. Características Físicas y Técnicas

La fig. 1b muestra el primer prototipo del manipulador inmerso por hielo (sin el prensor). Las dimensiones del MicroPelt (Infineon Technologies AG) son  $720 \times 720 \times 428 \mu\text{m}^3$ . Su cara caliente está fija a un radiador de cobre (el radiador del MicroPelt). El MiniPeltier (Melcor FC0.6-18-05), cuyas dimensiones son  $6.2 \times 6.2 \times 2.4 \text{ mm}^3$ , está fijo en su cara fría al radiador del MicroPelt, y en su cara caliente al radiador de cobre del sistema de enfriamiento líquido.

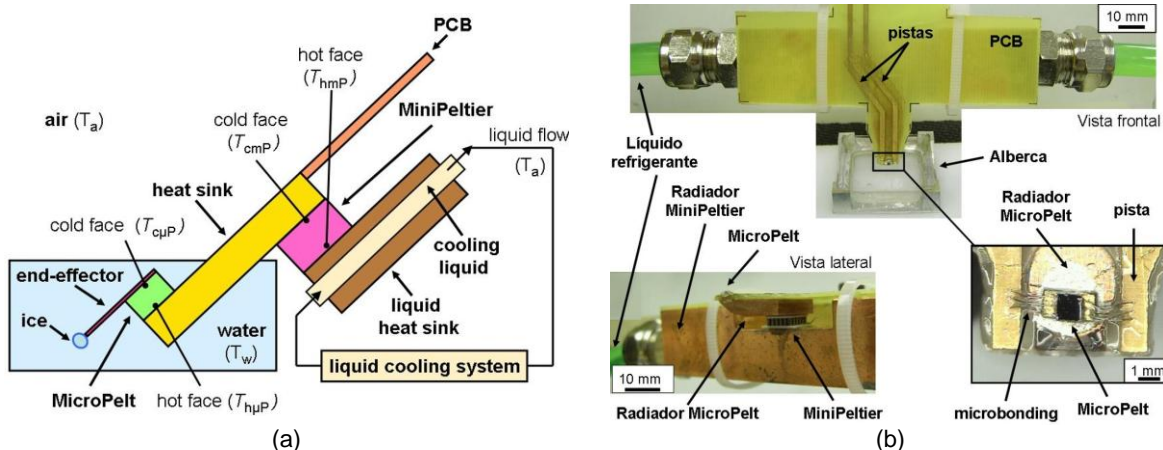


Fig. 1 Micromanipulador inmerso por hielo: (a) principio térmico; (b) primer prototipo.

## III. CIRCUITOS TÉRMICOS POR ANALOGÍA ELÉCTRICA

Predecir y controlar la distribución de temperatura en el micromanipulador inmerso por hielo requiere de un completo estudio de los intercambios de calor. Los modelos eléctricos equivalentes, llamados circuitos térmicos, son una herramienta poderosa para crear y simular de manera precisa y simplificada los modelos térmicos [13]. Además, permiten conectar fácilmente varios subsistemas entre ellos. Las equivalencias usuales entre un sistema térmico y un sistema eléctrico están resumidas en la tabla I.

Tabla I. Analogía térmica-eléctrica

Sistema térmico	Sistema eléctrico
Flujo de calor $Q$	Corriente $i$
Diferencia de temperatura $\Delta T$	Diferencia de voltaje $\Delta V$
Impedancia térmica $Z_{th}$	Impedancia $Z$

En esta sección se presenta el circuito térmico del MiniPeltier y del radiador del MicroPelt.

### A. Circuito Térmico de un Módulo a Efecto Peltier

La fig. 2a ilustra el circuito térmico de un módulo a efecto Peltier. Este consiste en una fuente de corriente  $P_S$  que representa el efecto Peltier, dos fuentes de corriente  $P_{J/2}$  para el efecto Joule, y una resistencia térmica  $R_{th}$  [9]. Los parámetros correspondientes al circuito térmico del MiniPeltier fueron calculados experimentalmente midiendo las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  de la cara fría y caliente respectivamente, la corriente  $i_{mP}$  aplicada al módulo y el voltaje  $V_{mes}$  entre sus terminales con y sin corriente a través del módulo. Estos valores se aplicaron a las ecuaciones de la capacidad de enfriamiento  $Q_2$ , la cual fue deducida de la fig. 2a, y del voltaje  $V_{mes}$ :

$$Q_2 = -P_S + P_{J/2} + (T_1 - T_2)/R_{th} = -\alpha T_2 i_{mP} + Ri_{mP}^2/2 + k_p (T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$V_{mes} = \alpha (T_1 - T_2) - Ri_{mP} \quad (2)$$

En estas expresiones  $\alpha$  es el coeficiente Peltier,  $R$  la resistencia eléctrica y  $k_p$  el coeficiente de conductividad. Estos parámetros dependen de las características del módulo Peltier. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla II.

### B. Circuito Térmico Dinámico del Radiador del MicroPelt

El circuito térmico dinámico propuesto y validado en [12] para el radiador del MicroPelt se muestra en la fig. 2b y consta de dos resistencias térmicas de convección  $R_{v0}$ , una resistencia térmica de conducción  $R_{c0}$  y dos capacitores térmicos  $C_{th0}$ . La geometría de dicho radiador es bastante complicada. Además, dado que se encuentra parcialmente inmerso en el agua, la temperatura  $T_{ext}$  involucra tanto a la temperatura del agua  $T_w$  como a la temperatura del aire  $T_a$ . Por lo tanto, la identificación de las resistencias térmicas  $R_{v0}$  y  $R_{c0}$ , y la temperatura  $T_{ext}$  se realizó de manera experimental en el estado estático.

De acuerdo con la fig. 2b, y sabiendo que la superficie (3) del radiador donde normalmente se conecta la cara caliente del MicroPelt se encuentra en convección con el agua ( $h_w$  es el coeficiente de convección entre la superficie  $S_3$  y el agua), es posible escribir la temperatura  $T_2$  en función de la temperatura  $T_3$ :

$$T_2(T_3) = \frac{R_{v0}}{R_{c0} + 2R_{v0}} [(R_{c0} + R_{v0})Q_2(T_3) - R_{v0}h_w S_3(T_3 - T_w)] + T_{ext} \quad (3)$$

$$\text{con } Q_2(T_3) = \frac{R_{c0} + 2R_{v0}}{R_{v0}^2} (T_3 - T_{ext}) + \frac{R_{c0} + R_{v0}}{R_{v0}} h_w S_3 (T_3 - T_{ext}) \quad (4)$$

Combinando (1), (3) y (4) es posible deducir  $R_{v0}$ ,  $R_{c0}$ ,  $T_{ext}$  conociendo  $T_1$ ,  $T_3$ , e  $i_{mP}$ . El valor de los capacitores térmicos  $C_{th0}$  es calculado directamente de su definición encontrada en [11]. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla II.

Tabla II. Parámetros físicos del MiniPeltier y parámetros térmicos del radiador del MicroPelt

MiniPeltier			Radiador del MicroPelt		
Coeficiente Peltier $\alpha$	0.007	V/K	Resistencia térmica de convección $R_{v0}$	307	K/W
Resistencia eléctrica $R$	1.12	$\Omega$	Resistencia térmica de conducción $R_{c0}$	229	K/W
Conductividad térmica $k_p$	0.016	W/mK	Capacitor térmico $C_{th0}$	0.48	J/K
			Temperatura $T_{ext}$	291	K

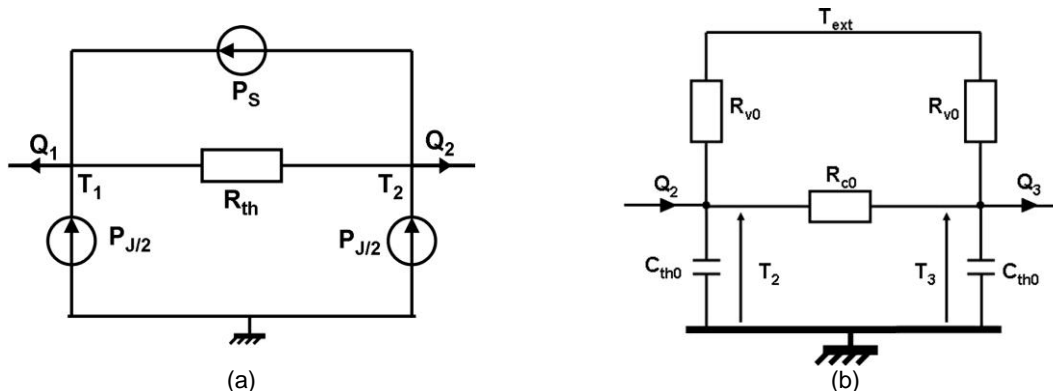


Fig. 2 Circuito térmico: (a) de un elemento Peltier [9]; (b) del radiador del MicroPelt.

#### IV. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

En esta sección se presenta por un lado la validación dinámica experimental del circuito térmico del subsistema analizado, y por el otro las primeras micromanipulaciones.

##### A. Validación Experimental del Circuito Térmico Dinámico

La validación del circuito térmico dinámico del subsistema compuesto por el sistema de enfriamiento líquido, el MiniPeltier y el radiador del MicroPelt fue efectuada comparando el circuito térmico global a los resultados experimentales obtenidos con el micromanipulador inmerso por hielo. El circuito térmico fue simulado con los programas Simulink™ y Matlab™ 7.0. En tanto, para el análisis experimental se suministró una corriente  $i_{mP}$  en forma de escalera con amplitud de 0.1 A desde 0 A a 1 A. Las temperaturas  $T_a$ ,  $T_w$  y  $T_3$  fueron medidas de manera continua. Las curvas de la temperatura  $T_3$  obtenidas en ambos casos están representadas en la fig. 3a. Como se puede apreciar, ambas curvas son muy próximas cuando  $i_{mP}$  se encuentra entre 0 y 0.6 A. Sin embargo, cuando  $0.6 < i_{mP} \leq 1$  A, el modelo eléctrico no toma en cuenta la amplificación del efecto Joule, particularmente presente en el MiniPeltier, el cual se incrementa con la corriente. De cualquier forma, el circuito eléctrico equivalente resulta satisfactorio.

##### B. Micromanipulaciones Experimentales

La fig. 3b muestra la tele-manipulación en agua de un objeto de silicio de  $600 \times 600 \times 100 \mu m^3$  empleando la cara fría del MicroPelt como parte activa. Primeramente se efectúa una fase de pre-enfriamiento para disminuir la temperatura  $T_3$  durante la cual  $i_{mP} = 0.9$  A (fig. 3b-a). Cuando  $T_3$  alcanza  $0.5^\circ C$ , el MicroPelt se aproxima al objeto y se activa con  $i_{\mu P} = 0.5$  A. Se genera la microgota de hielo ( $4 \mu l$ ) atrapando al objeto en 3 s (fig. 3b-b). El objeto puede entonces ser reposicionado (fig. 3b-c). Para liberarlo, se invierte  $i_{\mu P}$  a  $-0.5$  A y la gota de hielo se derrite en 7 s mezclándose con el medio y evitando así los problemas de adhesión (fig. 3b-d). El valor de las corrientes eléctricas está basado en [10]. Se puede constatar que la dinámica del MicroPelt, el cual no fue considerado en la sección anterior, es mucho mayor que la del subsistema tratado en dicha sección. Este mismo experimento fue realizado exitosamente varias veces.

#### V. CONCLUSIONES

Se desarrolló y probó una estrategia de manipulación completamente inmersa que elimina los problemas de adhesión durante la liberación del objeto. Con el fin de simular los intercambios del calor en el sistema, se caracterizó y validó experimentalmente el circuito térmico dinámico incluyendo el sistema de enfriamiento líquido, el MiniPeltier y el radiador del MicroPelt. Finalmente,

las primeras manipulaciones fueron realizadas exitosamente. Actualmente, se realiza el estudio y validación del circuito térmico completo del micromanipulador inmerso por hielo.

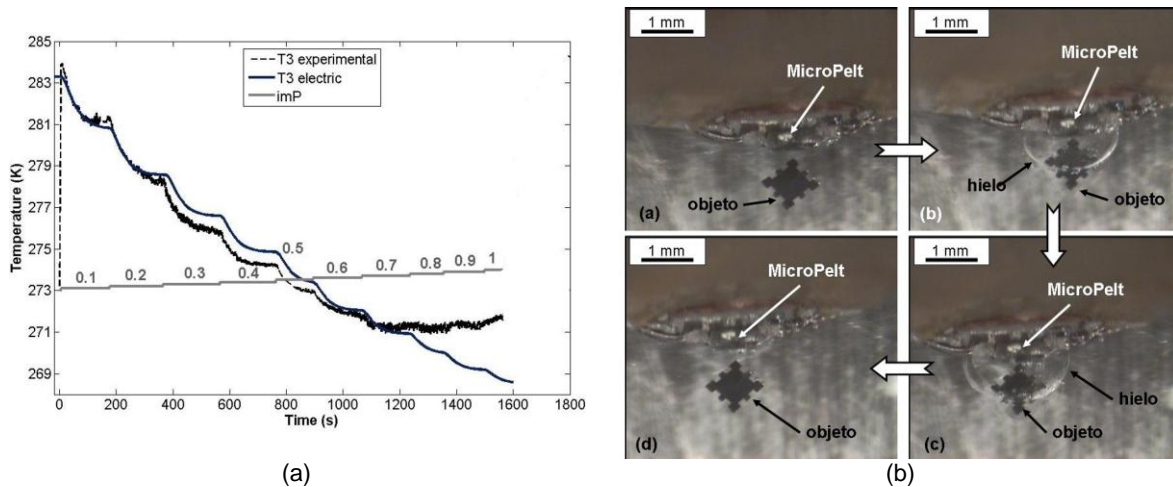


Fig. 3 Experimentaciones: (a) comparación de la temperatura  $T_3$ ; (b) micromanipulación inmersa por hielo.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto PRONOMIA financiado por la Agence Nationale de Recherche francesa y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología mexicano.

Los autores agradecen a Micropelt GmbH por el suministro de los módulos termoelectricos MicroPelt™.

## REFERENCIAS

- [1] D. S. Haliyo and S. Régnier, "Advanced applications using micromad, the adhesion based dynamic micro-manipulator," in *Proc. of AIM*, Japan, 2003, pp. 880–885.
- [2] T. Watanabe, N. Fujino, and Z. Jiang, "Micromanipulation using squeeze effect", in *Proc. of IEEE/RSJ IROS*, Japan, 2004, vol. 4, pp. 3357–3362.
- [3] M. Savia, Q. Zhou, and H. N. Koivo, "Simulating adhesion forces between arbitrarily shaped objects in micro/nano-handling operations," in *Proc. of IEEE/RSJ IROS*, Japan, 2004, pp. 1772–1777.
- [4] Q. Zhou, B. Chang, and H. N. Koivo, "Ambient environment effects in micro/nano handling," in *Proc. of IWMF*, China, October 2004, pp. 146–151.
- [5] M. Gauthier et al., "Analysis of forces for micromanipulations in dry and liquid media," *Journal of Micromechatronics*, vol. 3, no. 3-4, pp. 389–413, 2006.
- [6] D. Lang, M. Tichem, and S. Blom, "The investigation of intermediates for phase changing micro-gripping," in *Proc. of IWMF*, France, October 2006.
- [7] J. Liu, Y.-X. Zhou, and T.-H. Yu, "Freeze tweezer to manipulate mini/micro objects," *JMM*, vol. 14, no. 2, pp. 269–276, February 2004.
- [8] A. Kochan, "European project develops "ice" gripper for micro-sized components," *Assembly Automation*, vol. 17, no. 2, pp. 114–115, 1997.
- [9] J. Stephan and G. Seliger, "Handling with ice - the cryo-gripper, a new approach," *Assembly Automation*, vol. 19, no. 4, pp. 332–337, 1999.
- [10] B. López Walle, M. Gauthier, and N. Chaillet, "Submerged freeze gripper to manipulate micro-objects", in *Proc. of IEEE/RSJ IROS*, China, 2006.
- [11] B. López Walle, M. Gauthier, and N. Chaillet, "A submerged freeze gripper for micromanipulations", in *Proc. of IEEE ICRA*, Italy, 2007.
- [12] B. López Walle, M. Gauthier, and N. Chaillet, "Dynamic modeling of a submerged freeze gripper using a thermal network", in *Proc. of IEEE/ASME AIM*, Switzerland, 2007.
- [13] J.P. Holman, "Heat transfer", Mac Graw Hill, 1990.